

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)
14.578.21.0102

Название проекта

Разработка эффективного радиационно-стимулированного механо-электрического генератора

Тематическое направление

Индустрия наносистем

Исполнитель

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС"

Цели и задачи исследования

1) Применение импульсных источников питания позволяет преодолеть ограничения, вызванные малой мощностью бетавольтаических генераторов. Так в импульсном режиме Бетавольтаический генератор способен выдавать мощность вплоть до 1 мВт/см³. Импульсы большой мощности могут быть получены с использованием любого типа преобразователей путем использования накопительных элементов, таких как конденсаторы. Однако на практике конденсаторы обладают довольно большими токами утечки, что делает практически невозможным использование бетавольтаических генераторов мощностью меньше 1 мкВт для создания устройств, работающих в импульсном режиме. Подобная проблема может быть решена с использованием механо-электрического преобразователя, способного работать при низких удельных мощностях энергетического материала (0,1-1 мкВт/см² для ⁶³Ni), позволяя при этом обеспечивать непрерывную выходную мощность 10100 нВт/см³.

2) Целью проекта является разработка технологии создания механо-электрических преобразователей энергии бета-излучения в электрическую энергию на основе монокристаллов пьезоэлектриков с ориентированной доменной структурой для использования в составе автономных радиационно-стимулированных бета-вольтаических элементов питания переменного напряжения.

Актуальность и новизна исследования

Актуальность проекта определяется все возрастающими потребностями высокотехнологичных секторов экономики, таких как ядерная энергетика, авиакосмическая техника, нано- и микроэлектроника (в том числе МЭМС/НЭМС, МОЭМС/НОЭМС), биомедицина, специальная техника (в том числе системы безопасности и контроля), в необслуживаемых источниках энергообеспечения с длительным сроком эксплуатации. Кроме того, разработка компактных необслуживаемых элементов питания повышенного срока службы соответствует требованиям обеспечения технологической независимости и импортозамещения.

Результаты предлагаемого проекта позволят создать продукцию, замещающую и превосходящую по своим характеристикам ядерные батареи длительного

срока службы фирм США: Widetronix (Firefli-T, Firefli-N), City Labs (ERDIP, LCC) и BetaBatt (Trench, Fill-Jelli-Roll).

Описание исследования

Оптимальным энергетическим материалом для создания бетавольтаических элементов питания является изотоп ^{63}Ni , обладающий достаточным периодом полураспада и небольшой энергией эмитированной частицы, что резко снижает требования к защите от ионизирующего излучения. Однако, высокие значения $T_{1/2}$, равное примерно 100 годам характеризует довольно низкую удельную активность энергетического материала, что отрицательным образом сказывается на выходных параметрах бетавольтаических генераторов.

Использование монокристаллических пьезоэлектрических преобразователей повысит эффективность бетавольтаического генератора. В частности, будет повышен КПД преобразования за счет применения монокристаллических сегнетоэлектриков вместо используемой на настоящий момент пьезоэлектрической керамики, обладающей рядом негативных параметров, таких как усталость, деполяризация под действием радиационного излучения, сильная температурная зависимость пьезоэлектрических модулей.

Использование в качестве рабочих элементов монокристаллов сегнетоэлектриков позволит избежать подобных негативных моментов, однако, значения пьезоэлектрических модулей в таких веществах примерно на порядок ниже, чем у PZT пьезокерамики. Применение сегнетоэлектрических монокристаллов в виде бидоменных структур позволяет получить эффективные значения пьезоэлектрических модулей сравнимых с пьезокерамикой.

Колебания кантилевера представляют собой суперпозицию двух процессов: медленных колебаний, определяемых временем зарядки электродов под действием β -излучения, и высокочастотных собственных колебаний.

Частота медленных колебаний определяется отношением толщины кантилевера к его длине и интенсивностью излучения β источника и составляет несколько секунд. Высокочастотные колебания зависят только от геометрических параметров кантилевера, их частота в пределах изменения параметров составляет сотни герц.

В качестве материала для изготовления макетов опорных элементов предполагается использовать пластины монокристаллического алмаза, изготавливаемые Соисполнителем НИТУ «МИСиС» по данному проекту (ФГБНУ ТИСНУМ).

Алмаз является радиационно-стойким материалом с высокой энергией ионизации, алмаз обладает наибольшей твердостью среди простых веществ, высокой подвижностью носителей заряда и одним из самых высоких значений теплопроводности. Чистый алмаз имеет низкие токи утечки и высокое напряжение пробоя. Применение легированных синтетических алмазов позволяет создать материал с заданными электрофизическими параметрами.

В настоящее время проводятся исследовательские испытания изготовленных экспериментальных образцов механо-электрических преобразователей энергии.

Результаты исследования

Проведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ. Исследована возможность создания бетавольтаических механо-электрических генераторов на основе монокристаллических бидоменных структур. Проведенный обзор показал, что на данный момент в мире не существует пьезоэлектрических генераторов серийного производства, использующих в качестве рабочего элемента монокристаллы с заданной доменной структурой. Имеется 2 публикации, в которых показана принципиальная возможность использования в качестве рабочего элемента бидоменной сегнетоэлектрической структуры. Отмечается, что в этом случае эффективность преобразования возрастает минимум на 13 % по сравнению с пьезоэлектрической керамикой.

Рассмотрены основные схемы пьезоэлектрических преобразователей принцип функционирования с использованием монокристаллического бидоменного пьезоэлектрического элемента. Обоснован выбор материала пьезоэлектрического преобразователя и методы формирования заданной доменной структуры. Рассмотрены возможные негативные факторы, снижающие общую эффективность и пути снижения их влияния. Определены методы текущего контроля. Обоснован выбор материала опорных элементов. Разработана математическая модель функционирования. Произведен математический расчет процесса функционирования рабочего элемента. Представлены основные закономерности. Приведена теоретическая форма сигнала для дальнейшего использования при измерении выходных параметров механо-электрического генератора. Проведены расчеты выходных параметров механо-электрического преобразователя энергии с использованием разработанной модели.

В соответствии с разработанной Технологической и Конструкторской документацией изготовлены макеты пьезоэлектрических элементов в количестве 10 штук.

Разработана и доработана конструкция опорных элементов. По результатам анализа конструкции изделия и предъявляемых требований технического задания уточнен состав операций технологического процесса изготовления макетов опорных элементов. В соответствии с разработанной конструкторской и технологической документацией изготовлены макеты опорных элементов.

Разработана программа и методика исследовательских испытаний экспериментальных образцов механо-электрических преобразователей энергии. При помощи разработанной ПМ возможно определение выходных параметров механо-электрического генератора. В частности, времени затухания $\tau_{\text{зат}}$, периода колебаний T (или частоты собственных колебаний $\nu_{\text{рез}}$), а также амплитуды колебаний.

Разработан метод закрепления пьезоэлектрических элементов на опорных элементах. Метод основывается на процессе безфлюсовой вакуумной пайки припоем на базе эвтектического двойного соединения Au - Ge. Проведены исследования качества соединения. С помощью изготовленных макетов механо-электрических преобразователей экспериментально оценена полная добротность механической системы пьезоэлементопора. Согласно отработанной

процедуре разработан технологический регламент закрепления пьезоэлектрического и опорного элементов и сборки экспериментальных образцов механо-электрических преобразователей.

Практическая значимость исследования

Основное назначение проекта – разработка технологической и производственной базы для серийного изготовления элементов питания с длительным сроком службы постоянного и переменного тока, работающих в широком диапазоне выходных напряжений (1,5 – 9 В), выходных токов (от 15 мкА) и мощностей (в зависимости от параметров), предназначенных для питания датчиков и устройств различного назначения.

Новое поколение батарей позволит создать стратегический задел в области специальных источников питания, нацеленный на:

- Обеспечение безопасности на атомных станциях за счет создания энергонезависимых систем контроля;
- Обеспечение автономным питанием специальной техники;
- Освоение космоса за счет создания автономных необслуживаемых спутников и зондов;
- Развитие медицины за счет создания нового поколения необслуживаемых имплантов;
- Освоение труднодоступных регионов, в частности, крайнего Севера, за счет создания автономных геолого-разведывательных зондов, энергонезависимых сенсоров, буев и т.д.